

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЛИТЬЕ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ 30Л****Заблоцкий В. К., Фесенко А. Н., Фесенко М. А., Токар А. А.**

Исследованы особенности процессов структурообразования в отливках из стали. Приведены результаты исследований влияния приведенной толщины отливки на структуру и механические свойства стали 30Л в литом состоянии и после нормализации. Методом теплового травления микрошлифов установлено, что в структуре стали 30Л в литом состоянии наблюдается образование феррита двух модификаций  $F\alpha$  и  $F\delta$ . Наличие  $F\delta$  в структуре литой стали 30Л указывает на возможность эффективного повышения ее механических свойств путем микролегирования карбидообразующими элементами. Для оценки структурообразования в литой стали непосредственно после литья и термической обработки разработан метод неразрушающего контроля и прибор для его выполнения.

Досліджено особливості процесів структуроутворення в відливках зі сталі. Приведені результати досліджень впливу наведеної товщини вилівка на структуру й механічні властивості сталі 30Л в литому стані й після нормалізації. Методом теплового травлення мікрошлифів встановлено, що в структурі сталі 30Л в литому стані спостерігається виникнення фериту двох модифікацій  $F\alpha$  і  $F\delta$ . Наявність  $F\delta$  в структурі литої сталі 30Л вказує на можливість ефективного підвищення її механічних властивостей шляхом мікролегування карбидоутворювальними елементами. Для оцінки структуроутворення в литої сталі безпосередньо після лиття і термічної обробки розроблено метод неруйнівного контролю і прилад для його виконання.

The features of pattern formation in the casting of steel have been investigated. Results on the effect of the reduced thickness of the casting on the structure and mechanical properties of steel 30Л in the cast state and after normalization have been proposed. The method of thermal etching microsections it has been found that the structure of steel 30Л-cast ferrite formation occurs in two modifications  $F\alpha$  and  $F\delta$ . Availability of  $F\delta$  in the structure of cast steel 30Л indicates the possibility of effectively improving its mechanical properties by microalloying carbide-forming elements. To assess the structure formation in cast steel immediately after casting and heat treatment developed a method for nondestructive testing and device for its implementation has been developed.

Заблоцкий В. К.

д-р хим. наук, проф., зав. кафедрой ТОЛП ДГМА  
[tolp@dgma.donetsk.ua](mailto:tolp@dgma.donetsk.ua)

Фесенко А. Н.

канд. техн. наук, доц. кафедры ТОЛП, первый проректор ДГМА

Фесенко М. А.

канд. техн. наук, ст. преп. кафедры ТОЛП ДГМА

Токар А. А.

магистр ДГМА

УДК 624.71

Заблоцкий В. К., Фесенко А. Н., Фесенко М. А., Токар А. А.

### ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЛИТЬЕ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ 30Л

Известно, что структура стали 30Л непосредственно после литья состоит из феррита и перлита. Феррит во многих местах имеет игольчатое строение, что характерно для «видманштеттовой» структуры литой стали. После химического травления микрошлифа 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте при рассмотрении под микроскопом феррит имеет светлую окраску, а перлит темную, иглы феррита вклиниваются в зерна перлита. Безусловно, что такой вид структуры сформирован вследствие неравновесных условий кристаллизации и охлаждения литой стали. Поскольку «видманштеттовая» структура является неоднородной и не может обеспечить высокий уровень механических свойств, отливки подвергают отжигу или нормализации [1]. При неравновесных условиях кристаллизации возможно сохранение в структуре Фδ, который содержит больше углерода по сравнению с Фа. Повышенное содержание углерода влияет на дисперсионное упрочнение феррита, что приводит к увеличению прочностных свойств стали и особенно, если в ней присутствуют микродобавки V и N [2]. Возможность широкого использования указанного механизма упрочнения для литых сталей мало изучена из-за отсутствия метода определения наличия в структуре Фδ.

Целью работы является изучение особенностей структурообразования в отливках из стали 30Л.

Химический состав стали 30Л соответствовал ГОСТ 977-88. На приливных пробах исследовали неоднородность литой структуры с помощью металлографического микроскопа МИМ-8М, применяя химическое и тепловое травление при 400 °С (30 мин), а также количественную металлографию для оценки доли феррита в структуре, магнитную проницаемость для оценки структурно-фазового состояния поверхностного слоя образцов. Твердость определяли на приборе ТШ-2М, микротвердость на ПМТ-3, прочностные и пластические свойства на машине для растяжения Р10, ударную вязкость на маятниковом копре МК-30. Исследовали отливки «подушка», «рельс нижний» и «полувенец» производства ФЛЦ № 1 ЗАО «НКМЗ» с приведенной толщиной 28 мм, 44 мм и 177 мм соответственно. Приведенную толщину определяли как отношение объема отливки к площади поверхности отливки. Нормализацию отливок выполняли по заводским режимам.

Анализ микроструктуры каждой из отливок (рис. 1) показал, что непосредственно после литья и химического травления микрошлифов в структуре наблюдается игольчатый и полиэдрический феррит, он располагается по границам зерен перлита.

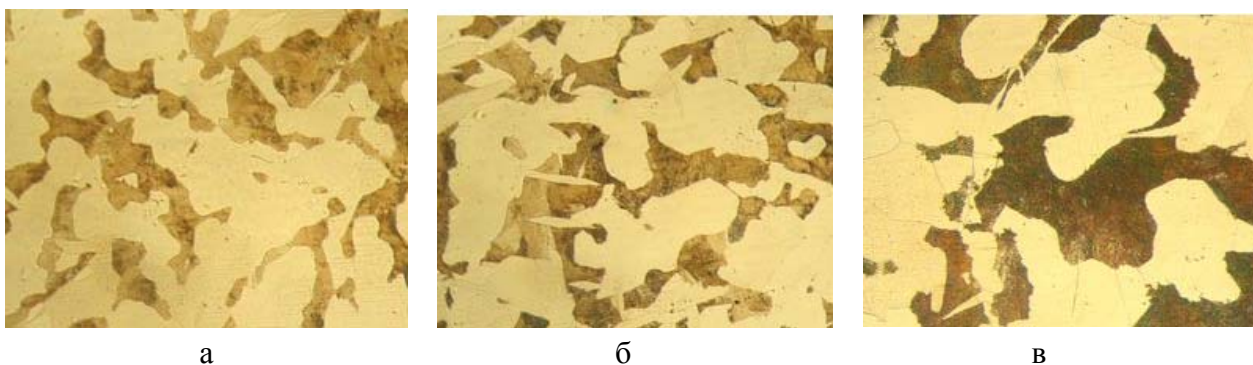


Рис. 1. Микроструктура литой стали 30Л в отливках приведенной толщины в мм: 28 (а), 44 (б) и 177 (в) после химического травления, × 100

Как следует из рис. 1, количество феррита с увеличением приведенной толщины отливок уменьшается. Это обусловлено тем, что по мере увеличения приведенной толщины (равным образом массы) отливок увеличивается зерно в стали, что уменьшает периметр границ для выделения феррита, следовательно, и объем выделяемого феррита.

Об укрупнении зерна и уменьшении доли феррита свидетельствует понижение магнитной проницаемости стали при увеличении приведенной толщины отливок.

После теплового травления неоднородным выглядит как феррит, так и перлит (рис. 2). Неоднородность феррита проявляется в том, что он имеет белую и бирюзовую окраску. Последняя свидетельствует о повышенном содержании углерода в феррите. Это позволяет сделать вывод, что непосредственно после литья в структуре стали 30Л существуют два вида феррита:  $\Phi\alpha$  (светлый) и  $\Phi\delta$  (бирюзовый). Микротвердость  $\Phi\alpha$  1530 МПа,  $\Phi\delta$  2010 МПа, перлита 2418 МПа. Существование  $\Phi\delta$  в данном случае может быть связано с неравновесными условиями кристаллизации стали, что не обеспечивают полного завершения перетектического превращения:  $\Phi\delta + \text{Ж} \rightarrow \text{Ж} + \text{А} + \Phi\delta$ . В этом случае в аустените не успевает полностью раствориться  $\Phi\delta$ , а поэтому он сохраняется в аустените до  $\text{A}_{\text{T}3}$ . При понижении температуры ниже  $\text{A}_{\text{T}3}$  из аустенита выделяется  $\Phi\alpha$ , который расположен рядом с ранее образовавшимся  $\Phi\delta$ . При охлаждении ниже  $\text{A}_{\text{T}1}$  аустенит превращается в перлит.

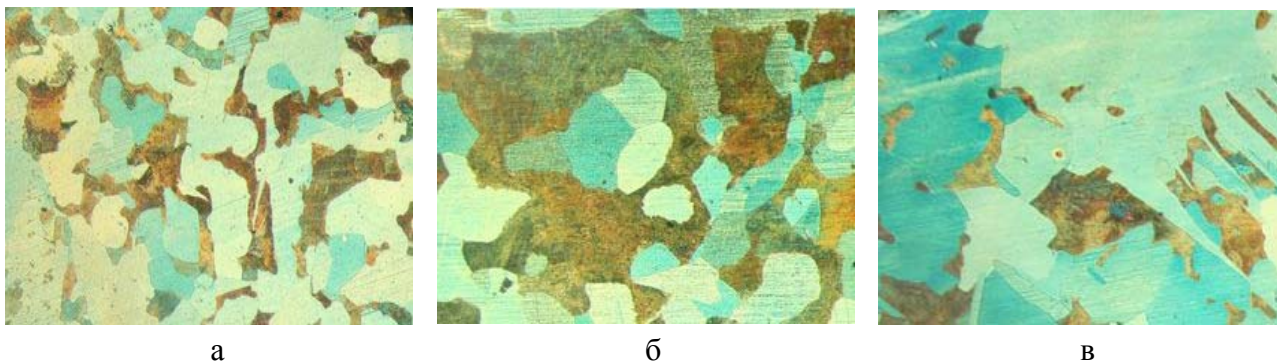


Рис. 2. Микроструктура литой стали 30Л в отливках приведенной толщины в мм: 28 (а), 44 (б) и 177 (в) после теплового травления,  $\times 100$

Структурную неоднородность перлита можно объяснить химической неоднородностью аустенита, предшествующей образованию перлита. Необходимо отметить, что после теплового травления в структуре перлита просматриваются белые  $\Phi\alpha$  и бирюзовые  $\Phi\delta$  частицы, а это указывает на перлит как механическую смесь  $\Phi\alpha + \Phi\delta + \text{Fe}_3\text{C}$ . Получение перлита со смесью  $\Phi\alpha + \Phi\delta$  может быть связано с тем, что при перетектическом превращении аустенит образуется по границам некоторых мелких зерен  $\Phi\delta$ . Тогда после неполного завершения перетектического превращения внутри зерен аустенита могут сохраняться частицы  $\Phi\delta$ , которые при превращении оболочки аустенита в перлит ( $\Phi\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) окажутся внутри перлита рядом с частицами  $\Phi\alpha$ . Следовательно, после завершения процесса кристаллизации стали ниже температуры солидуса ее структура состоит из крупных зерен  $\Phi\delta$  и аустенита с мелкими включениями  $\Phi\delta$ .

Схема структурно-фазовых превращений при кристаллизации и охлаждении стали 30Л при равновесных и неравновесных условиях кристаллизации приведена на рис. 3 [3].

Все механические свойства стали 30Л непосредственно после литья снижаются по мере увеличения приведенной толщины отливок, что также обусловлено укрупнением зерна. В наименьшей степени снижается твердость, которая мало зависит от величины зерна (табл. 1).

После нормализации структура стали 30Л становится мелкозернистой (рис. 4, 5), в ней не наблюдается  $\Phi\delta$ , количество феррита становится меньше, так как при ускоренном охлаждении в процессе нормализации увеличивается доля перлита (табл. 1).

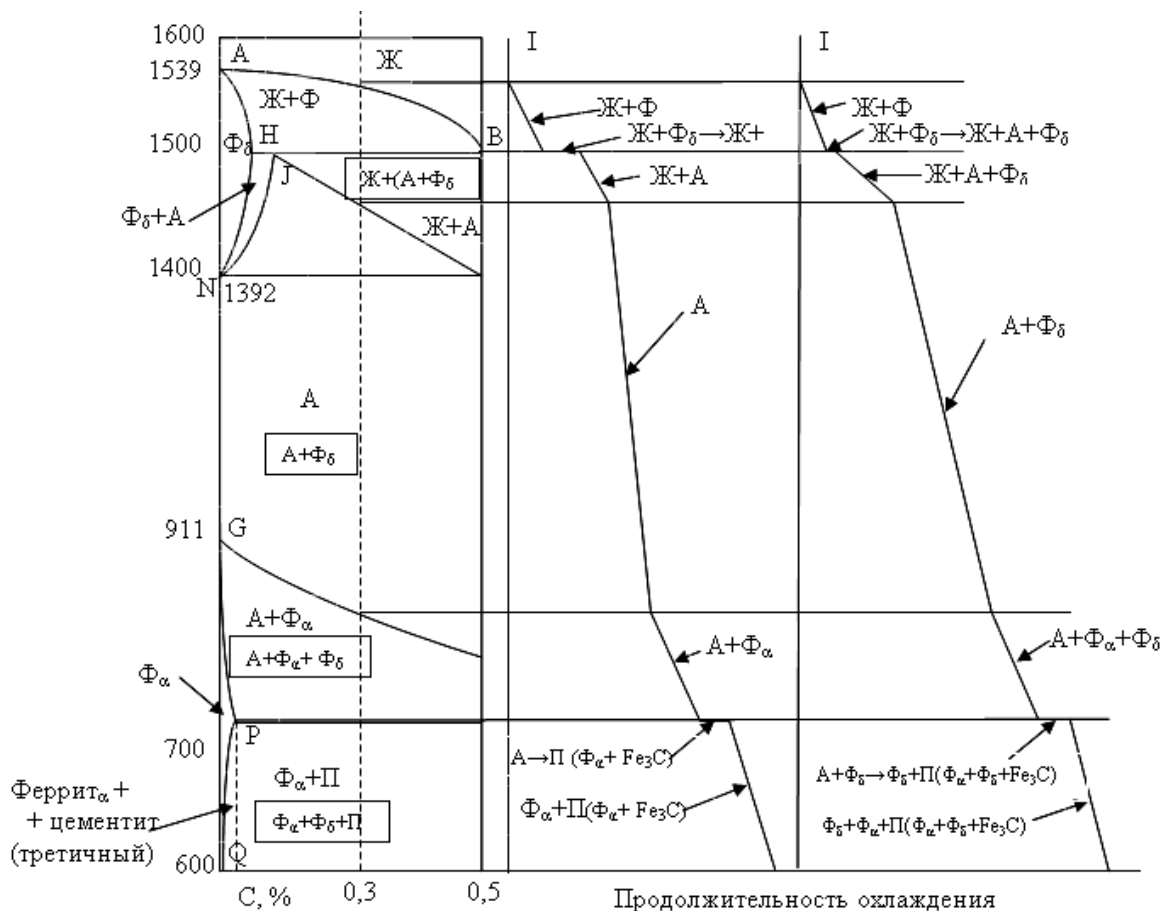


Рис. 3. Взаимосвязь между диаграммой Fe – Fe<sub>3</sub>C и структурно-фазовым состоянием стали при равновесных (I) и неравновесных (II) условиях кристаллизации

Таблица 1

Соотношение относительного показателя структурно-фазового состояния для отливок с приведенной толщиной из стали 30Л и соответствующими механическими свойствами

Приведенная толщина, мм	Магнитная * проницаемость, мВ	Содержание феррита, %	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю, НВ
Литая сталь							
28	679 ± 7,63	66,73	255	600	33	48	216
44	658 ± 11,75	62	247	520	29	39	212
177	608 ± 17,43	60	231	499	12	12	190
Нормализованная сталь							
28	643 ± 9,42	32	367	678	52	97	191
44	625 ± 38,25	26,58	296	542	49	81	187
177	567 ± 13,62	20,5	274	503	41	53	156

\* Магнитная проницаемость в мВ по показаниям специально разработанного прибора.

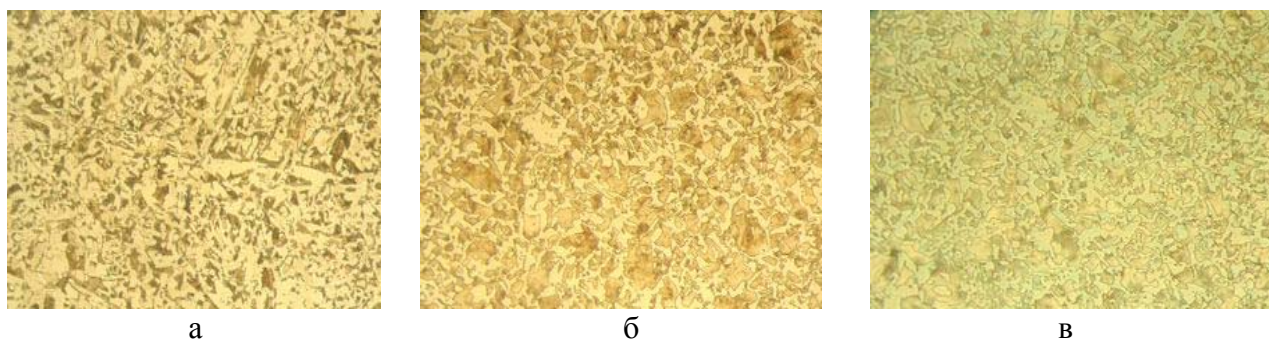


Рис. 4. Микроструктура литой стали 30Л после нормализации в отливках приведенной толщины в мм:

28 (а), 44 (б), 177 (в) после химического травления,  $\times 100$

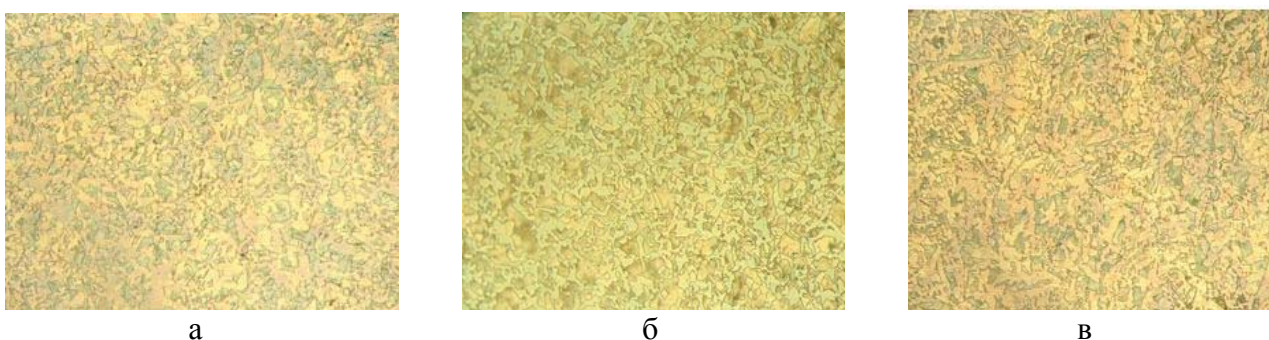


Рис. 5. Микроструктура литой стали 30Л после нормализации в отливках приведенной толщины в мм:

28 (а), 44 (б), 177 (в) после теплового травления,  $\times 100$

Механические свойства после нормализации несколько выше, что связано с измельчением зерна. Магнитная проницаемость нормализованных сталей ниже, что связано с увеличением в структуре доли перлита. Однако тенденция изменения свойств нормализованной стали в зависимости от приведенной толщины отливок остается такой же, как и после литья. Важным моментом является тот факт, что в структуре нормализованной стали отсутствует Ф $\delta$ . Это указывает на то, что при нагреве для нормализации Ф $\delta$  растворяется в аустените как метастабильная фаза, а затем при охлаждении из аустенита выделяется Ф $\alpha$  как стабильная фаза. Обнаруженный в структуре стали 30Л непосредственно после литья Ф $\delta$  указывает на возможность дополнительного повышения механических свойств этой стали за счет дисперсного упрочнения феррита карбидообразующими элементами.

### ВЫВОДЫ

Основной особенностью структуры стали 30Л, полученной при литье, является образование Ф $\delta$ , он определяется тепловым травлением микрошлифов. Наличие в структуре литой стали 30Л Ф $\delta$  указывает на возможность эффективного повышения ее механических свойств микролегированием карбидообразующими элементами. Для оценки структурообразования в литой стали непосредственно после литья и термической обработки разработан метод неразрушающего контроля и прибор для его выполнения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1977. – 648 с.
2. *Strengthening mechanisms in vanadium microalloyed steels intended for long products* / S. Zajac, T. Siwecki, W. B. Hutchinson, R. Lagneborg // *ISIJ Int.* – 1998. – № 10. – P. 1130–1139.
3. *Особенности кристаллизации отливок из сталей 30Л и 35ХМЛ* / В. К. Заблоцкий, А. Н. Фесенко, М. А. Фесенко, Д. Л. Годичкий, А. А. Токар // *Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве : материалы международной научно-технической конференции* : Украина, Краматорск, 2009. – С. 94–96.